

康复机器人联合间歇性有氧训练对脑卒中偏瘫患者步态控制及平衡能力的影响

邢雅娟, 白德浩, 何丽平, 魏祥礼

(河北省沧州中西医结合医院骨康院区神经康复科 河北 沧州 061000)

摘要 **目的:** 分析机器人训练联合间歇性有氧训练对脑卒中偏瘫患者步态控制及平衡能力的影响。**方法:** 选择 2022 年 1 月—2024 年 1 月在河北省沧州中西医结合医院骨康院区接受治疗的 80 例脑卒中偏瘫患者作为研究对象, 采用随机数表法将其分为对照组 (40 例, 实施间歇性有氧训练) 和观察组 (40 例, 在对照组训练基础上增加机器人训练)。比较两组的治疗效果、步态参数 (步速、步态周期、支撑相、摆动相)、功能性步行能力量表 (FAC) 评分, 以及 Berg 平衡量表 (BBS) 评分、脑卒中生活质量量表 (SS-QOL) 评分。**结果:** 观察组的治疗总有效率为 95%, 对照组为 80%, 差异有统计学意义 ($P<0.05$)。治疗后, 两组的步速、对称指数、足压较治疗前提升, 且观察组优于对照组, 差异有统计学意义 ($P<0.05$); 治疗后, 两组的步态周期、支撑相和摆动相时间短于治疗前, 且观察组短于对照组, 差异有统计学意义 ($P<0.05$)。与治疗前相比, 治疗后观察组的 FAC 分级提升。治疗后两组的 BBS 与 SS-QOL 评分较治疗前显著提升, 且观察组高于对照组, 差异有统计学意义 ($P<0.05$)。BBS 与 SS-QOL 评分主体内效应 ($F_{\text{时点}}$ 、 $F_{\text{交互}}$)、主体间效应 ($F_{\text{组间}}$) 比较, 差异有统计学意义 ($P<0.05$)。**结论:** 机器人训练联合间歇性有氧训练具有较好的临床治疗效果, 能够改善脑卒中偏瘫患者步态控制, 提高患者的平衡能力和生活自理能力。

关键词 康复机器人; 康复训练; 间歇性有氧训练; 脑卒中; 偏瘫; 步态控制

中图分类号 R493 **文献标识码** A **文章编号** 2096-7721 (2025) 05-0735-06

Effect of rehabilitation robot combined with intermittent aerobic training on gait control and balance ability in stroke patients with hemiplegia

XING Yajuan, BAI Dehao, HE Liping, WEI Xiangli

(Department of Neurological Rehabilitation, Cangzhou Hospital of Integrated Traditional Chinese Medicine and Western Medicine, Cangzhou 061000, China)

Abstract **Objective:** To analyze the effects of rehabilitation robot training combined with intermittent aerobic training on gait control and balance ability in stroke patients with hemiplegia. **Methods:** 80 stroke patients with hemiplegia treated at the Department of Neurological Rehabilitation of Cangzhou Hospital of Integrated Traditional Chinese Medicine and Western Medicine from January 2022 to January 2024 were enrolled. They were randomly divided into the control group ($n=40$, receiving intermittent aerobic training) and the observation group ($n=40$, receiving rehabilitation robot-assisted training combined with intermittent aerobic training). Therapeutic efficacy, gait parameters (gait speed, gait cycle, stance phase, swing phase), functional ambulation category (FAC) scores, Berg balance scale (BBS) scores, and stroke-specific quality of life scale (SS-QOL) scores were compared between the two groups of patients. **Results:** The total effective rate was 95% in the observation group versus 80% in the control group, with a statistically significant difference ($P<0.05$). After intervention, the two groups were both showed improvements in gait speed, symmetry index, and foot pressure compared to that before intervention, with superior outcomes in the observation group ($P<0.05$). The observation group also had shorter gait cycle and durations for stance phase and swing phase than the control group ($P<0.05$). FAC grades improved significantly in the observation group compared with the control group after training. BBS and SS-QOL scores increased markedly in the two groups,

基金项目: 河北省中医药管理局科研计划项目 (2020475)

Foundation Item: Hebei Provincial Administration of Traditional Chinese Medicine Scientific Research Project(2020475)

引用格式: 邢雅娟, 白德浩, 何丽平, 等. 康复机器人联合间歇性有氧训练对脑卒中偏瘫患者步态控制及平衡能力的影响 [J]. 机器人外科学杂志 (中英文), 2025, 6 (5): 735-739, 745.

Citation: XING Y J, BAI D H, HE L P, et al. Effect of rehabilitation robot combined with intermittent aerobic training on gait control and balance ability in stroke patients with hemiplegia[J]. Chinese Journal of Robotic Surgery, 2025, 6(5): 735-739, 745.

通讯作者 (Corresponding Author): 邢雅娟 (XING Yajuan), Email: 18031782216@163.com

with higher scores in the observation group ($P<0.05$). Significant within-subject effects ($F_{\text{timepoint}}$, $F_{\text{interaction}}$) and between-subject effects ($F_{\text{intergroup}}$) were observed for BBS and SS-QOL scores ($P<0.05$). **Conclusion:** The combination of rehabilitation robot-assisted training and intermittent aerobic training has superior clinical efficacy, which can effectively improve gait control, balance ability, and self-care capacity in stroke patients with hemiplegia.

Key words Rehabilitation Robot; Rehabilitation Training; Intermittent Aerobic Training; Stroke; Hemiplegia; Gait Control

脑卒中作为临床上极具挑战性的脑血管疾病，常引起患者出现偏瘫等后遗症。偏瘫不仅限制患者的行动自由，还会导致呼吸功能减退、步态严重异常及平衡能力大幅下降等问题，这不仅延长了康复周期，还影响患者的生活质量和日常功能^[1-2]。有氧运动作为一种有效的康复手段，被广泛用于改善脑卒中患者的呼吸功能和肺功能，通过优化人体内循环系统，提升氧气运输效率，为患者带来一定的康复效益^[3]。然而，单纯的有氧运动存在局限性，如需要患者的高度配合、训练过程枯燥易导致其积极性下降等，从而影响康复效果^[4]。近年来，下肢康复机器人技术作为一种创新的方法，逐渐在脑卒中康复领域崭露头角。它通过模拟人体下肢运动规律，在特定负重或减重状态下为患者提供个性化的训练方案，不仅能够增强下肢肌力、扩大关节活动范围，还能促进神经肌肉的支配能力恢复，从而改善患者的步态控制和平衡能力^[5]。研究表明，脑卒中恢复期患者采用下肢康复机器人辅助训练能够显著提高康复效果，缩短康复周期^[6]。鉴于有氧运动与下肢康复机器人训练各自的优势，本研究拟将两者相结合，探索一种全新的联合康复模式，但目前关于其临床应用效果的研究仍相对匮乏。因此，本研究旨在通过观察机器人训练与间歇性有氧训练联合应用对脑卒中偏瘫患者步态控制及平衡能力的影响，为脑卒中康复提供新的思路和方法，以期提高患者的康复效果和生活质量。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选取 2022 年 1 月—2024 年 1 月在河北省沧州中西医结合医院骨康院区接受治疗的 80 例脑卒中偏瘫患者作为研究对象，采用随机数表法将其分为对照组（40 例，实施间歇性有氧训练）和观察组（40 例，在对照组训练基础上增加机器人训练）。纳入标准：①符合《中国急性缺血性卒中诊治指南 2023》中脑卒中的相关诊断标准，且影像学检查提示有明确的梗死灶或出血灶^[7]；②伴随偏瘫

症状，包括但不限于一侧肢体无力、运动功能障碍等；③入院时病情相对稳定，无严重并发症，能够耐受康复训练；④患者及其家属均签署知情同意书。排除标准：①存在严重的心、肺、肝、肾等器官功能障碍，或患有其他可能影响康复进程的严重疾病；②存在严重的认知障碍，如痴呆、精神异常等；③既往有严重的运动系统疾病或神经系统疾病史；④对康复训练或研究中使用的设备、方法存在禁忌证；⑤因各种原因（如转院、放弃治疗等）无法完成全程康复训练或评估。两组患者一般资料相比，差异无统计学意义（ $P>0.05$ ），具有可比性（见表 1）。

1.2 研究方法

1.2.1 对照组 采用间歇性有氧训练法。首先，以 2~3 min 的轻松踏车骑行及全身轻柔拉伸作为热身。随后进行 3 个高强度与低强度交替的循环训练阶段，具体方法为：患者通过踏车骑行以较高强度进行，旨在提升心率并接近有氧阈值，期间康复师指导患者

表 1 两组患者一般资料比较 [$\bar{x}\pm s$, $n(\%)$]
Table 1 Comparison of general data between the two groups of patients [$\bar{x}\pm s$, $n(\%)$]

指标	对照组 ($n=40$)	观察组 ($n=40$)	t/χ^2 值	P 值
年龄 (岁)	57.25 ± 6.11	57.75 ± 5.93	-0.371	0.711
病程 (d)	60.30 ± 10.21	61.18 ± 10.26	-0.382	0.703
性别			0.205	0.651
男	24 (60.00)	22 (55.00)		
女	16 (40.00)	18 (45.00)		
脑卒中类型			0.050	0.823
缺血性	19 (47.50)	18 (45.00)		
出血性	21 (52.50)	22 (55.00)		
偏瘫侧			0.052	0.820
左侧	23 (57.50)	24 (60.00)		
右侧	17 (42.50)	16 (40.00)		
下肢 Brunnstrom 分期			0.228	0.633
Ⅲ期	28 (70.00)	26 (65.00)		
Ⅳ期	12 (30.00)	14 (35.00)		

保持正确姿势,避免异常运动,该阶段持续 1~2 min;低强度训练阶段同样持续 1~2 min,为轻松的踏板骑行训练,以促进心肺恢复和肌肉放松。每个循环之间,患者根据个人体能进行短暂休息。最后,以 3~5 min 的轻松踏板骑行及全身拉伸作为放松环节。整个训练过程严格监控患者心率,并根据其体质和训练进展适时调整强度与持续时间,平均时长约为 30 min,每天 1 次,持续 4 周。

1.2.2 观察组 在对照组训练的基础上联合康复机器人[仪器型号为 LiteStepper, 厂家为安杰莱科技(杭州)有限公司]训练。首先,康复师将根据患者的具体情况(如年龄、体重、偏瘫程度等)和康复目标(如恢复独立行走能力、提高步态稳定性等),为患者量身定制机器人训练计划。康复师需仔细设定机器人训练的相关参数,包括但不限于步长、步速、步态稳定性、支撑力度等关键指标。随后,患者在康复师的指导下接受机器人辅助步态训练。在训练过程中,机器人将提供必要的支撑和辅助,帮助患者逐步恢复正常的步行模式。机器人的支撑和辅助力度根据患者的康复进展和训练计划进行动态调整,以确保训练的安全性和有效性。同时,机器人能够实时监测患者的运动表现,包括步态参数的变化和肌肉活动的模式。这些数据也会被实时传输至康复师的监测系统中,以便康复师能够及时了解患者的训练情况,并根据需要调整训练策略。训练平均时长为 30 min,每天 1 次,持续 4 周。

1.3 观察指标 ①疗效评价^[8]:采用 Fugl-Meyer 评估表(Fugl-Meyer Assessment Scale, FMA)评分进行评估。康复:得分 ≥ 28 分,患者能够独立行走,无需辅助器具,生活完全自理。显效:得分为 20~27 分,患者能够在少量帮助下行走,基本实现生活自理,但患肢仍有部分功能受限。有效:得分从基线提升了 5~10 分,并且患肢能够执行一些功能性动作,但在日常生活中仍需要一定程度的帮助。无效:得分增长少于 5 分,或者患者无明显的功能改善。②步态参数:包括步速、步态周期、支撑相、摆动相、对称指数、足压。步速通过计算患者在固定步道上的行走时间得出。步态周期为同侧足跟两次连续触地的时间间隔。支撑相与摆动相的测量利用足底压力系统或高速摄像机记录并分析足底接触及足部运动轨迹,以确定各自时长。对称指数选取特定的步

态参数(如步长、步速、支撑时长等),分别测量两侧肢体的数值,然后计算两数值的差异,除以两数值的平均值,再乘以 100%。对称指数越小,患者两侧肢体的协调性越好。足压使用足底压力分布系统记录患者在行走过程中患侧足底各区域的压力分布,最终结果取平均最大峰值压力。③功能性步行力量表(Functional Ambulation Category, FAC)评分^[9]:分为 6 个级别,6 级表示患者能够在无任何帮助或设备的情况下,在社区内自由行走;0 级表示患者无法行走或需要两人以上的帮助才能进行轻微的移动。级别越高,患者的功能性步行能力越强。④Berg 平衡量表(Berg Balance Scale, BBS)评分^[10]:包含 14 项评定,每项依完成质量 0~4 分计分,4 分为正常完成,0 分为无法完成。总分越高,患者平衡能力越强。⑤脑卒中生活质量量表(Stroke-specific Quality of Life Scale, SS-QOL)评分^[11]:包含 49 个条目,每个条目依据患者的实际感受或情况,采用 5 级评分制进行计分。总分越高,患者脑卒中后生活质量越好。

1.4 统计学方法 所有数据采用 SPSS 22.0 统计软件进行分析。计数资料以例数(百分比)[$n(\%)$]表示,行 χ^2 检验;计量资料用 S-W 检验判断正态性,符合正态分布以均数 $\pm$ 标准差($\bar{x}\pm s$)表示,行 t 检验或重复测量方差分析,事后两两比较采用 LSD 法;不符合正态分布以中位数(四分位数间距)[$M(P25, P75)$]表示,行 Z 检验。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 治疗效果 观察组的治疗总有效率为 95%,对照组为 80%,差异具有统计学意义($P<0.05$),见表 2。

2.2 步态参数 治疗前,两组的步态参数相比,差异无统计学意义($P>0.05$)。治疗 4 周后,两组的步速、对称指数、足压较治疗前提升,且观察组优于对照组,差异有统计学意义($P<0.05$);治疗 4 周后,两组的步态周期、支撑相和摆动相时间短于治疗前,且观察组短于对照组,差异有统计学意义($P<0.05$),见表 3。

2.3 FAC 评分 治疗前,两组的 FAC 评分相比,差异无统计学意义($P>0.05$)。治疗后,观察组的 FAC 评分优于对照组,差异有统计学意义($P<0.05$),见表 4。

表 2 两组患者治疗效果 (FMA 评分) 比较 [n (%)]

Table 2 Comparison of treatment effects (FMA scores) between the two groups of patients [n (%)]

组别	康复	显效	有效	无效	总有效
对照组 (n=40)	10 (25.00)	8 (20.00)	14 (35.00)	8 (20.00)	32 (80.00)
观察组 (n=40)	14 (35.00)	10 (25.00)	14 (35.00)	2 (5.00)	38 (95.00)
χ^2 值					4.114
P 值					0.043

表 3 两组患者步态参数比较 ($\bar{x} \pm s$)

Table 3 Comparison of gait parameters between the two groups of patients ($\bar{x} \pm s$)

指标	时间	对照组 (n=40)	观察组 (n=40)	t 值	P 值
步速 (m/s)	治疗前	0.37 ± 0.11	0.39 ± 0.12	-0.651	0.517
	治疗 4 周	0.56 ± 0.14 ^a	0.73 ± 0.15 ^a	-5.174	<0.001
步态周期 (s)	治疗前	1.96 ± 0.49	1.90 ± 0.48	0.537	0.593
	治疗 4 周	1.40 ± 0.53 ^a	1.19 ± 0.43 ^a	2.114	0.038
支撑相时间 (s)	治疗前	1.24 ± 0.24	1.20 ± 0.26	0.759	0.450
	治疗 4 周	0.83 ± 0.25 ^a	0.61 ± 0.14 ^a	4.793	<0.001
摆动相时间 (s)	治疗前	0.83 ± 0.20	0.81 ± 0.22	0.567	0.572
	治疗 4 周	0.54 ± 0.19 ^a	0.43 ± 0.23 ^a	2.335	0.021
对称指数 (%)	治疗前	68.89 ± 7.89	68.09 ± 8.10	0.409	0.684
	治疗 4 周	76.56 ± 7.12 ^a	81.12 ± 6.46 ^a	-3.005	0.004
足压 (Pa)	治疗前	223.34 ± 25.67	226.78 ± 24.12	-0.624	0.535
	治疗 4 周	278.98 ± 19.12 ^a	301.12 ± 18.23 ^a	-5.284	<0.001

注：与治疗前相比，^aP<0.05

表 4 两组患者 FAC 评分比较 ($\bar{x} \pm s$)

Table 4 Comparison of FAC scores between the two groups of patients ($\bar{x} \pm s$)

组别	治疗前	治疗 4 周	t 值	P 值
对照组 (n=40)	2.30 ± 1.30	3.00 ± 1.40	-1.014	0.317
观察组 (n=40)	2.48 ± 1.66	5.03 ± 0.73 ^a	-7.294	<0.001

注：与对照组相比，^aP<0.05

2.4 BBS 与 SS-QOL 评分 与治疗前相比，两组的 BBS 与 SS-QOL 评分均提升，差异有统计学意义

($P<0.05$)。BBS 与 SS-QOL 评分主体内效应 ($F_{\text{时点}}$ 、 $F_{\text{交互}}$)、主体间效应 ($F_{\text{组间}}$) 比较，差异有统计学意义 ($P<0.05$)。治疗 4 周及随访 4 周后，观察组的 BBS 与 SS-QOL 评分均高于对照组，差异有统计学意义 ($P<0.05$)，见表 5。

3 讨论

脑卒中偏瘫作为影响患者生活质量的后遗症，其康复过程复杂且漫长。传统康复手段如间歇性有

表 5 两组患者 BBS 与 SS-QOL 评分比较 ($\bar{x} \pm s$)

Table 5 Comparison of BBS and SS-QOL scores between the two groups of patients ($\bar{x} \pm s$)

组别	BBS 评分			SS-QOL 评分		
	治疗前	治疗 4 周	随访 4 周	治疗前	治疗 4 周	随访 4 周
对照组 (n=40)	22.88 ± 3.67	30.10 ± 5.14 ^b	36.83 ± 5.17 ^{bc}	106.88 ± 11.24	118.95 ± 10.27 ^b	125.78 ± 12.19 ^{bc}
观察组 (n=40)	22.83 ± 3.40	35.90 ± 5.19 ^{ab}	39.15 ± 4.78 ^{abc}	107.00 ± 10.73	123.83 ± 11.24 ^{ab}	136.23 ± 11.84 ^{abc}
F 值	$F_{\text{组间}}=16.362$, $F_{\text{时点}}=254.334$, $F_{\text{交互}}=9.249$			$F_{\text{组间}}=13.352$, $F_{\text{时点}}=89.643$, $F_{\text{交互}}=4.080$		
P 值	$P_{\text{组间}}<0.001$, $P_{\text{时点}}<0.001$, $P_{\text{交互}}<0.001$			$P_{\text{组间}}<0.001$, $P_{\text{时点}}<0.001$, $P_{\text{交互}}=0.019$		

注：与对照组相比，^aP<0.05；与治疗前相比，^bP<0.05；与治疗 4 周后相比，^cP<0.05

氧训练虽有一定成效，但在步态控制和平衡能力的恢复上仍有提升空间^[12]。近年来，随着科技的飞速发展和医疗技术的不断创新，机器人训练作为一种新兴的康复手段，逐渐在脑卒中偏瘫康复领域崭露头角^[13]。机器人训练通过模拟人体自然运动，结合精密的传感器和算法，能够为患者提供个性化、高强度的康复训练。它不仅能够精准地控制训练强度和时间，还能实时监测患者的运动参数，从而及时调整训练方案，确保训练效果的最大化^[14-15]。因此，本研究深入剖析康复机器人训练结合间歇性有氧训练对脑卒中偏瘫患者步态控制能力的实际效果，旨在为患者提供更为科学、高效的康复策略。

本研究结果显示，观察组的治疗总有效率高达95%，初步验证了机器人训练结合间歇性有氧训练在脑卒中偏瘫患者康复中的有效性。进一步深入分析FAC评分，发现治疗后观察组在步速、对称指数、足压、步态周期、支撑相及摆动相时间等方面均优于对照组，证明了联合训练在优化步态控制方面的良好效果。此外，随访4周后两组患者的BBS与SS-QOL评分均有所提升，且观察组的提升幅度更为显著。通过重复测量方差分析，BBS与SS-QOL评分在时点和组间存在交互作用，这一结果进一步强调了联合训练在提升平衡能力和生活质量方面的积极作用。回顾既往研究，机器人训练和间歇性有氧训练各自的优势已被广泛证实^[16-19]。例如，Katoh D等人^[20]的研究表明，间歇性有氧训练通过控制运动强度和间歇时间，能够有效提升脑卒中患者的心肺功能和运动耐力，刺激心肺系统，提高氧气利用率和乳酸清除能力，从而为患者的整体运动能力打下坚实基础。在本研究中，间歇性有氧训练同样展现出了其独特的优势，它不仅能够增强患者的运动耐力，还能改善呼吸功能和血液循环，为步态恢复提供生理支持^[21]。同时，间歇性有氧训练还能促进神经系统的重塑和功能恢复，有助于患者更好地控制肌肉活动，提高步态的稳定性和协调性^[22-24]。另一方面，机器人训练的优势也不容忽视。通过精确测量患者的步态参数和肌肉活动情况，机器人训练系统能够为患者量身定制个性化的训练计划，确保训练针对患者的具体需求进行。这不仅有助于患者逐步恢复正常的步行模式，还能减少因训练不当而引发的二次损伤风险^[25-27]。此外，机器人训练提供的

精准辅助力量，能够帮助患者在康复过程中逐步克服肌肉无力、协调性差等障碍，进一步促进步态恢复与改善^[28-29]。当机器人训练与间歇性有氧训练相结合时，两者产生协同效应，共同促进患者的全面康复。这两种训练方式在作用机制上相互补充，既关注患者肌肉、骨骼等运动系统的恢复，又重视心肺功能的提升和神经系统的重塑^[30-31]。这种综合性的康复方案不仅显著提高了患者的步行能力和生活质量，还减少了康复过程中并发症和后遗症的发生，为患者带来更为显著的康复效果^[32]。因此，本研究为脑卒中偏瘫患者的康复提供了新的思路和方法，具有重要的临床意义和实践价值。

综上所述，机器人训练联合间歇性有氧训练对脑卒中偏瘫患者具有较好的临床治疗效果，能够改善其步态控制，提高其平衡能力和生活自理能力。但本研究仍存在一定的局限性：①未对出血性脑卒中与缺血性脑卒中、不同偏瘫侧别的患者治疗效果进行对比分析；②样本量有限，可能影响结果的普适性；③观察期较短，缺乏对长期疗效的追踪，限制了结论的全面性。因此，未来研究需扩大样本、细分患者群体、延长随访时间，以深入评估联合治疗对脑卒中偏瘫患者长期康复的影响。

利益冲突声明：本文不存在任何利益冲突。

作者贡献声明：邢雅娟负责课题设计，数据收集与论文撰写；白德浩负责文献检索，数据统计与分析；何丽平负责课题设计与质量控制；魏祥礼负责质量控制与数据核查。

参考文献

- [1] 刘银霞,董虹丽,汪军华.运动想象训练联合任务导向性功能训练对脑卒中偏瘫患者下肢功能恢复的影响[J].中华物理医学与康复杂志,2024,46(4):322-324.
- [2] 方胜胜,张芳芳,胡星.对称负重式坐站转移训练对脑卒中后偏瘫患者坐站转移稳定性和步态对称性的影响[J].中国医药导报,2023,20(23):107-110.
- [3] 马联杰,顾旭东,李岩,等.动态失稳训练对脑卒中患者姿势控制能力、平衡与步行功能的影响[J].中华物理医学与康复杂志,2023(3):45.
- [4] 张海泉,胡川,王欣.智能机器人步态模拟训练结合悬吊运动对脑卒中早期下肢运动功能的影响[J].中国康复医学杂志,2024,39(6):798-803.
- [5] Hishikawa N, Sawada K, Maeda H, et al. One-leg robotic-assisted gait training efficiently improves gait independence for acute stroke hemiplegic patients: A prospective pilot study[J]. Am J Phys Med Rehabil, 2024, 103(5): 444-447.
- [6] Kitamura G, Nankaku M, Kikuchi T, et al. Effect of gait distance during robot training on walking independence after acute brain injury[J]. Assist Technol, 2024, 36(6): 446-451.
- [7] 中华医学会神经病学分会,中华医学会神经病学分会脑血管病学组.中国急性缺血性卒中诊治指南2023[J].中华神经科杂志,2024,57(6):523-559.

(下转745页)